

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-331712

(43)Date of publication of application : 02.12.1994

(51)Int.Cl.

G01R 31/302

G01R 19/00

H01L 21/66

(21)Application number : 05-136915

(71)Applicant : HEWLETT PACKARD CO &lt;HP&gt;

(22)Date of filing : 15.05.1993

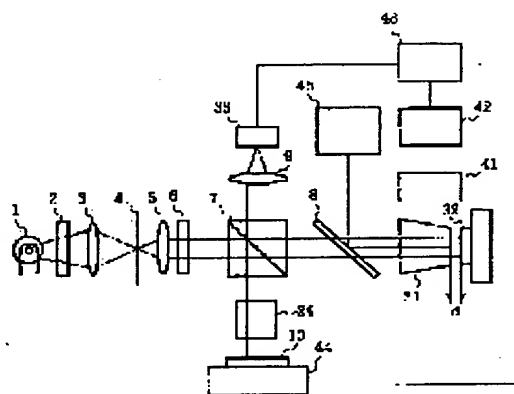
(72)Inventor : WATANABE SATOSHI

(54) METHOD FOR CONTROLLING DISTANCE BETWEEN OPTICAL PROBE AND TARGET TO BE MEASURED, DISTANCE CONTROL DEVICE, AND ELECTROPHYSICAL QUANTITY MEASURING DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To precisely control the clearance between an optical probe and a target to be measured by precisely measuring the clearance between the optical probe [EO probe (non-contact type optical probe), MO probe (magneto-optical crystal probe)] and a circuit to be measured, and feeding back the measured value to the position control means of the probe.

CONSTITUTION: A clearance measuring light having a wavelength band differed from an electrophysical quantity measuring light is incident on an optical path for electric physical quantity measuring light, the clearance measuring light is reflected on the top end surface of an EO probe 31 and the surface of a circuit 32 to be measured, and the clearance between the top end surface of the EO probe 31 and the circuit 32 to be measured is measured on the basis of the phase difference between the reflected light on the top end surface of the EO probe 31 and the surface of the circuit 32 to be measured, and the measured value is fed back to the position control means 41 of the EO probe 31 to control the clearance.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.05.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3320835

[Date of registration] 21.06.2002

[Number of appeal against examiner's decision]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-331712

(43)公開日 平成6年(1994)12月2日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 1 R 31/302

19/00

V

H 0 1 L 21/66

C 7630-4M

6912-2G

G 0 1 R 31/ 28

L

審査請求 未請求 請求項の数9 F D (全 10 頁)

(21)出願番号

特願平5-136915

(22)出願日

平成5年(1993)5月15日

(71)出願人 590000400

ヒューレット・パッカード・カンパニー

アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル

ト ハノーバー・ストリート 3000

(72)発明者 渡辺 智

神奈川県川崎市高津区坂戸3丁目2番2号

ヒューレット・パッカードラボラトリー

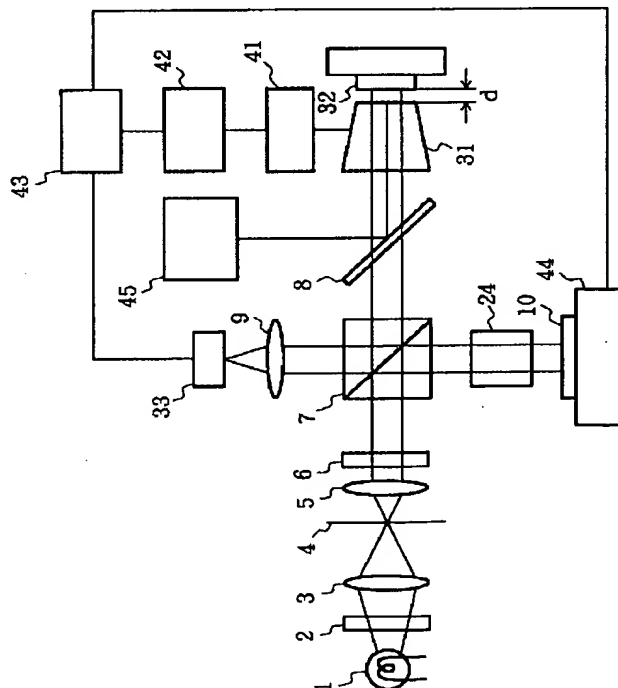
ズジャパンインク内

(54)【発明の名称】 光学プローブ・被測定対象間の距離制御方法および距離制御装置ならびに電気物理量測定装置

(57)【要約】

【目的】 光学プローブ (EOプローブ, MOプローブ) と被測定回路との離間距離を正確に測定し、その測定値をプローブの位置制御手段にフィードバックすることで、光学プローブと被測定対象との離間距離を高精度に制御する。

【構成】 (1) 電気物理量測定用光の光路に、該電気物理量測定用光とは異なる波長帯域を持つ離間距離測定用光を入射させ、(2) 該距離測定用光を前記EOプローブ31の先端面および前記被測定回路32の表面において反射させ、(3) EOプローブ31の先端面における反射光と、被測定対象32の表面における反射光との位相差に基づいて、EOプローブ31の先端と被測定回路32との離間距離を測定し、(3) 該測定値をEOプローブ31の位置制御手段41にフィードバックして離間距離を制御する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被測定対象表面の電気物理量を測定する電気物理量測定装置に適用される光学プローブ・被測定対象間の距離制御方法において、

所定の波長帯域を持つ距離測定用光を光学プローブの透明な先端面および被測定対象表面において反射させ、前記光学プローブ先端面における反射光と、前記被測定対象表面における反射光との位相差に基づいて、前記光学プローブ先端と前記被測定対象との離間距離を測定し、

該測定値を前記光学プローブの位置制御手段にフィードバックして前記離間距離を制御する、ことを特徴とする光学プローブ・被測定対象間の距離制御方法。

【請求項 2】 被測定対象表面の電気物理量を測定する電気物理量測定装置に適用される光学プローブ・被測定対象間の距離制御装置において、

前記電気物理量測定用光とは異なる波長帯域を持つ距離測定用光を生成するための光源と、

前記被測定対象との離間距離調節を行う位置制御手段が設けられた前記光学プローブと、

前記光学プローブ先端面における反射光と、前記被測定対象表面における反射光との位相差に基づいて、前記光学プローブ先端と前記被測定対象との離間距離を測定するための手段と、

該測定値を光学プローブの位置制御手段にフィードバックして前記離間距離を制御する手段と、を有してなることを特徴とする光学プローブ・被測定対象間の距離制御装置。

【請求項 3】 前記電気物理量が電圧または電流であり、かつ前記距離測定用光は該電気物理量測定用光とは異なる波長帯域を持つことを特徴とする請求項 1 に記載の光学プローブ・被測定対象間の距離制御方法。

【請求項 4】 前記電気物理量が電圧または電流であり、かつ前記距離測定用光の光源は該電気物理量測定用光とは異なる波長帯域を持つ光を生成することを特徴とする請求項 2 に記載の光学プローブ・被測定対象間の距離制御装置。

【請求項 5】 前記距離測定用光は前記電気物理量測定用光の波長帯域より短い波長の所定帯域幅を持ち、該距離測定用光は前記光学プローブおよび光路長可変の反射ミラーに分路し、

前記反射ミラーからの反射光と、前記光学プローブ先端面および前記被測定対象表面からの反射光とを干渉させ、これらの反射光の位相差が変化することにより得られる干渉出力に基づき前記離間距離を制御することを特徴とする請求項 1、3 に記載の光学プローブ・被測定対象間の距離制御方法。

【請求項 6】 前記距離測定用光は前記電気物理量測定用光の波長帯域より短い波長の所定帯域幅を持ち、前記離間距離を測定するための手段が、

該距離測定用光を前記光学プローブおよび光路長可変の反射ミラーに分路させるためのビームスプリッタと、前記反射ミラーの光路長を変化させる光路長増減手段と、

前記反射ミラーからの反射光と、

前記光学プローブ先端面および前記被測定対象表面からの反射光とを干渉させるための干渉手段と、

前記干渉手段からの干渉出力光を受光してその強度を検出する光検出器と、

10 前記光検出器の出力を信号処理し、前記光学プローブ先端と前記被測定対象との離間距離を測定する信号処理回路と、を有してなり、

前記離間距離を制御する手段が、前記信号処理回路の出力を前記光学プローブの位置制御手段にフィードバックして前記離間距離を制御するフィードバック回路を有してなる、ことを特徴とする請求項 2、4 に記載の光学プローブ・被測定対象間の距離制御装置。

【請求項 7】 前記距離測定用光は前記電気物理量測定用光の波長帯域より短い波長の所定帯域幅を持ち、

20 前記光学プローブ先端面および前記被測定対象表面において前記距離測定用光を反射させ、この反射光を二つの光路に分路させ、

両光路に反射ミラーを設け、そのうち一方の反射ミラーの光路長を変化させ、

両反射ミラーからの反射光を干渉させ、これらの反射光の位相差が変化することにより得られる干渉出力に基づき、前記離間距離を制御する、ことを特徴とする請求項 1、3 に記載の光学プローブ・被測定対象間の距離制御方法。

30 【請求項 8】 前記距離測定用光は前記電気物理量測定用光の波長帯域より短い波長の所定帯域幅を持ち、前記離間距離を測定するための手段が、

前記光学プローブの先端面および前記被測定対象表面において反射された、反射光を二つの光路に分路させるビームスプリッタと、

両光路に設けられた一対の反射ミラーであって、そのうち一方が光路長を変化させ得る反射ミラーと、

両反射ミラーからの反射光を干渉させるための干渉手段と、

40 前記干渉手段からの干渉出力光を受光してその強度を検出する光検出器と、を有してなり、

前記離間距離を制御する手段が、前記信号処理回路の出力を前記光学プローブの位置制御手段にフィードバックして前記離間距離を制御するフィードバック回路を有してなる、ことを特徴とする請求項 2、4 に記載の光学プローブ・被測定対象間の距離制御装置。

【請求項 9】 請求項 2、4、6 または 8 に記載の距離制御装置が設けられてなる電気物理量測定装置であって、前記光学プローブ内での電気物理量測定用光の偏光状態変化を検出することで、被測定配線の電圧または電

流を求めることを特徴とする電気物理量測定装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【産業上の利用分野】本発明は、集積回路などの電気物理量測定（たとえば、内部ノード電圧の測定）に適用される光学プローブ・被測定対象間の距離制御方法および装置ならびに電気物理量測定装置に係り、光学プローブと被測定対象との離間距離を正確に測定し、その測定値をプローブの位置制御手段にフィードバックすることによって、該プローブと被測定対象との離間距離を高精度に制御することができる上記方法および装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【技術背景】集積回路等の試験においては、たとえば、特開平 1 - 2 8 6 4 3 1 公報に開示されているように、電気光学結晶（電気光学効果を有する結晶）を用いた非接触型のプローブ（以下、「EOプローブ」と言う）を被測定回路に近接させ、パルス幅の狭い光パルスを上記結晶に照射し、該結晶内における偏光状態の変化を検出することで、被測定回路の内部ノードの電圧を非接触、無侵襲で超高速に試験する方法がある。

【 0 0 0 3 】この方法において、通常、測定感度は、EOプローブと被測定対象との離間距離に大きく依存し、EOプローブと被測定対象との離間距離の制御精度が高ければ高いほど、精度の高い電圧測定が可能になる。また、被測定回路の配線の幅を数  $\mu\text{m}$  と考えたとき、回路にゆう乱を与えず且つ十分な測定感度を得るためには、EOプローブの先端面と被測定対象との離間距離を  $1\mu\text{m}$  程度に保つ必要がある。

【 0 0 0 4 】EOプローブを被測定回路に近接させるための具体的な方法として、従来、（１）EOプローブを被測定回路に一度接触させてから、所望の距離だけ離すという作業により、EOプローブと被測定回路の離間距離を決める方法（１９９２年電子情報通信学会秋季大会講演予講集 C - 3 0 9）、（２）特開平 2 - 2 3 8 3 8 2 公報に記されているように、二つの波長の光と、これらの二波長に対して光軸上色収差を有するレンズとを用い、それぞれの波長の光をプローブ端面と被測定回路の表面に焦点を結ばせることによってプローブを位置決めする方法等が知られている。

【 0 0 0 5 】（１）の方法では、プローブを被測定回路に接触させるという作業を伴うため、この接触の際にEOプローブや被測定回路が機械的に破壊される場合が生ずる。

【 0 0 0 6 】さらに、この種の離間距離制御においては、上記離間距離を測定しその測定値によってEOプローブを制御するというフィードバック系がない場合には、外的な振動の影響は避けられない。ところが、

（１）に代表される従来の方法では、離間距離を測定できないか、離間距離を高い精度で測定できないため、上記のフィードバック系を採用することはできない。した

がって、高精度な離間距離制御は難しいと考えられる。

【 0 0 0 7 】また、（２）の方法では、焦点深度そのものが  $1\mu\text{m}$  程度存在するため、離間距離の設定値は数  $\mu\text{m}$  が限界と推察され、精度の高い離間距離測定は難しいと考えられる。

【 0 0 0 8 】特に電圧の絶対値測定をする場合には、上記離間距離に応じて電圧測定値を校正する必要がある、このためには、離間距離を測定できること、および状況に応じて任意に設定できることが望まれる。しかし、上記（２）の方法では、離間距離は光学系設計の際に決定されるため、これを電圧測定する際に任意に設定することはできない。

【 0 0 0 9 】

【発明の目的】本発明は、非接触型の光学プローブ（EOプローブや磁気光学結晶プローブ（MOプローブ））を被測定対象に近接させて、所定の電気物理量（たとえば、集積回路の内部ノード電圧、集積回路の配線を流れる電流）を測定する装置に適用される光学プローブ・被測定対象間の距離制御方法および距離制御装置において、光学プローブと被測定回路との離間距離を正確に測定し、その測定値をプローブの位置制御手段にフィードバックすることで、光学プローブと被測定対象との離間距離を高精度に制御することを目的としている。

【 0 0 1 0 】

【発明の概要】本発明の光学プローブ・被測定対象間の距離制御方法および距離制御装置は、被測定対象表面の電気物理量を測定する電気物理量測定装置に適用されるものであり、前記距離制御方法は、（１）所定の波長帯域を持つ距離測定用光を光学プローブ先端面および被測定対象表面において反射させ、（２）光学プローブ先端面における反射光と、被測定対象表面における反射光との位相差に基づいて、光学プローブ先端と被測定対象表面との離間距離を測定し、（３）該測定値を光学プローブの位置制御手段にフィードバックして、前記離間距離を制御することを特徴とする。

【 0 0 1 1 】距離制御装置は、（１）電気物理量測定用光とは異なる波長帯域を持つ距離測定用光を生成するための光源と、（２）光学プローブ先端面における反射光と、被測定対象表面における反射光との位相差に基づいて、光学プローブ先端と被測定対象表面との離間距離を測定するための手段と、（３）該測定値を光学プローブの位置制御手段にフィードバックして、前記離間距離を制御する手段と、を有してなることを特徴とする。

【 0 0 1 2 】また、本発明の光学プローブ・被測定対象間の距離制御方法および装置は、非接触型の光学プローブの透明先端面にて、電気物理量測定用光を反射させ、該反射光の光学プローブ内での偏光状態変化を検出することにより、被測定対象表面の電気物理量（内部ノード電圧値、配線を流れる電流）を測定する装置にも適用される。なお、上記電気物理量測定用光として、通常はレ

ーザビームが使用される。

【0013】本発明において、距離測定用光として、波長帯域が前記電気物理量測定用光の波長帯域とは異なる光が用いられる。また、距離測定用光を生成するための光源は、通常コヒーレンス長の短い白色光源（たとえば、ハロゲンランプ、LED等）および複数の光学フィルタ等により構成される。

【0014】本発明では、電気物理量測定用光の光路に、該電気物理量測定用光とは異なる波長帯域を持つ距離測定用光を入射する。この入射の手段として、通常ダイクロイックミラーが使用され、電気物理量測定用光、距離測定用光の何れか一方を該ダイクロイックミラーに透過させ、他方をダイクロイックミラーに反射させることで、上記入射を実現している。

【0015】また、光学プローブ先端面における反射光と、被測定対象表面における反射光との位相差に基づいて、前記光学プローブ先端と被測定対象表面との離間距離を測定するための手段として、マイケルソン干渉計（通常は、可動式ミラー、光強度検出器等から構成される）等の周知の光学的手段が使用される。

【0016】さらに、離間距離の測定値を光学プローブの位置制御手段にフィードバックして、前記離間距離を制御するために、ピエゾ素子が使用される。本発明では、フィードバック制御を施すことにより外的な振動の影響を受けず、高精度に離間距離が保たれる。また、離間距離は必要に応じて任意の値に設定される。

【0017】より具体的には、本発明では、前記距離測定用光は前記電気物理量測定用光の波長帯域より短い波長の所定帯域幅を持ち、該距離測定用光は前記光学プローブおよび光路長可変の反射ミラーに分路する。そして、前記反射ミラーからの反射光と、前記光学プローブ先端面および前記被測定対象表面からの反射光とを干渉させ、これらの反射光の位相差が変化することにより得られる干渉出力に基づき前記離間距離を制御する。

【0018】距離測定用光を、二つの光路に分路させるための手段として、ビームスプリッタが採用される。また、反射ミラーにおいて反射された距離測定用光の光路長を変化させるために、光路長増減手段が設けられる。この光路長増減手段としては、代表的には反射ミラーと一体に駆動するピエゾ素子が用いられる。

【0019】反射ミラーからの反射光と、前記光学プローブの先端面および被測定対象表面からの反射光とを干渉させるための干渉手段として、通常は、上記ビームスプリッタが併用される。すなわち、ビームスプリッタに入射した距離測定用光は、前述したように一度は二路に分路して出力されるが、これらの光は光学プローブの先端面、被測定対象表面で反射され、および反射ミラーにより反射されて、ビームスプリッタに再び戻り、両反射光はここで干渉される。なお、この干渉手段からの干渉出力光は光検出器により受光されることになる。

【0020】そして、距離測定用光の干渉により得られる干渉ピークの位置から、光学プローブと被測定対象との離間距離を測定し、その測定値を光学プローブの位置制御手段にフィードバックしながら光学プローブを被測定対象に近接させるため、光源にハロゲンランプを用いた場合、1  $\mu$ m以下まで距離測定を行いながら光学プローブを被測定対象に近づけることができる。また、その際、フィードバック制御により0.1  $\mu$ m以下の位置決め精度が実現可能と考えられる。

【0021】なお、距離測定用光は光学プローブの先端面および被測定対象表面において反射し、電気物理量測定用光は光学プローブの先端面で反射され、同一光路を伝搬する。電気物理量測定のためには、上記光路から電気物理量測定用光を分離する必要がある。電気物理量測定用光と距離測定用光とは、ダイクロイックミラー等により分離できるので、距離測定用光が電気物理量測定用光に悪影響を及ぼすことはない。

【0022】また、本発明では、前記距離測定用光は前記電気物理量測定用光の波長帯域より短い波長の所定帯域幅を持ち、前記光学プローブ先端面および前記被測定対象表面において前記距離測定用光を反射させる。そして、この反射光を二つの光路に分路させ、両光路に反射ミラーを設け、そのうち一方の反射ミラーの光路長を変化させ、両反射ミラーからの反射光を干渉させ、これらの反射光の位相差が変化することにより得られる干渉出力に基づき、前記離間距離を制御する。

【0023】先に述べた具体的な例では、距離測定用光をまず二つの光路に分路して、これらを電気光学結晶プローブ、被測定対象側と反射ミラー側に分路したが、ここでは距離測定用光は分路することなく電気光学結晶プローブ、被測定対象側に送られ、電気光学結晶プローブの先端面および被測定対象表面で反射した光を、ビームスプリッタにより二つの光路に分路させている。

【0024】そして、両光路に設けられた一对の反射ミラー（そのうち一方が光路長を変化させ得る反射ミラー）からの反射光を干渉手段により干渉させている。この場合にも、光学プローブの先端面および被測定対象表面からの反射光を二つの光路に分路するための手段として、ビームスプリッタが採用される。また、干渉手段として該ビームスプリッタを用いることができる。

【0025】なお、光学プローブへ光を導くための手段として光ファイバを用いることができる。さらに、ビームスプリッタおよび干渉手段を光ファイバカップラにより構成し、各光路を光ファイバで構成することもできる。

【0026】

【実施例】

〔第1実施例〕図1は、本発明の第1実施例を示す図であり、EOプローブ・被測定対象間の距離制御系全体を示している。

【0027】同図において、白色光源1（ここでは、ハロゲンランプ）から発せられた白色光は、集光レンズ3、ピンホール4、コリメートレンズ5で構成されるコリメート光学系を通過し平行光とされる。また、上記白色光の光路には、熱線吸収フィルタ2および色温度変換フィルタ（同図では光学フィルタ6で示す）が設けられており、熱線吸収フィルタ2は白色光源1の波長帯域を可視光領域とするとともに、光学フィルタ6が距離測定

の分解能を向上させている。上記1～6の符号で示される各構成要素により、距離測定用光を生成するための光源が構成される。

【0028】そして、上記光源からの光は、ビームスプリッタ7により二つの光路に分路される。これらの光路のうち一方の光路には、ダイクロイックミラー8を介して非接触型のEOプローブ31が設けられており、EOプローブ31の先端側には被測定対象（被測定回路32）が配置されている。また、上記二つの光路のうち、他方の光路には色分散補償媒体24を介して光軸方向に移動する反射ミラー10が設けられている。EOプローブ31の先端面および被測定回路32の表面において反射した距離測定用光、および反射ミラー10において反射した距離測定用光は、ビームスプリッタ7で合成された後、集光レンズ9で集光され、光検出器33に受光されてその強度が測定される。

【0029】本実施例では、反射ミラー10はピエゾ素子44で高精度に光軸に沿って走査される。この走査により、ビームスプリッタ7と反射ミラー10間の光路長が連続的に変化し、光検出器33は反射ミラー10の位置の関数としての干渉光強度を測定することができる。

【0030】以下、白色光干渉に基づいた離間距離測定の原理を簡単に説明する。ここでは、EOプローブ31と被測定回路32との離間距離の測定が目的であるため、電気物理量測定用光は考慮しないものとする。

【0031】図1においては、白色光源1としてコヒーレンス長の短いハロゲンランプを用いており、反射ミラー10を光軸にそって移動させた場合、ミラー位置がEOプローブ31側の二つの反射面（すなわち、該プローブ31の先端面と被測定回路32の表面）の位置と光路長で一致したときにのみ干渉出力が大きく現れる。

【0032】図1の光検出器33により測定される上記干渉出力によるEOプローブ31の端面と被測定回路32表面との離間距離の測定の例を図2を参照しつつ説明する。同図に示した二つのピークのうちI0はEOプローブ31の先端面からの反射光と反射ミラー10からの反射光との干渉を、またI1は被測定回路32表面からの反射光と反射ミラー10からの反射光との干渉を表している。これら二つの干渉のピークの差（反射ミラー10の移動距離（移動方向をZで示す））から、EOプローブ31の端面と被測定回路32表面との離間距離dを測定できる。

【0033】この測定においては、距離分解能は一つの干渉出力の包絡線（図2では破線で示す）の半値幅で決まる。干渉出力は干渉に寄与する光のスペクトルとフーリエ変換の関係にある。光のスペクトル分布をガウシアン分布と仮定したときの半値幅を $\Delta\lambda$ 、距離分解能を $\Delta z$ とすると、

【0034】

$$\text{【数1】 } \Delta z = (2 \cdot \ln 2 / \pi) \cdot \{ (\lambda_c^2 - \Delta\lambda^2) / 4 \} / \Delta\lambda$$

【0035】なる関係があり、また、干渉のフリンジは中心波長 $\lambda_c$ の $1/2$ の周期で現れる。たとえば、 $\lambda_c = 0.6 \mu\text{m}$ 、 $\Delta\lambda = 0.3 \mu\text{m}$ であるとする、 $\Delta z = 0.5 \mu\text{m}$ である。したがって、干渉出力のピークを鋭くし、離間距離の分解能を高めるためには、干渉に寄与する光のスペクトル分布を高帯域な分布とし、かつその中心波長は短い方がよいことになる。また、今のように二つの干渉ピークを分離して測定するためには、一方の干渉ピークが他方に影響しないことが望まれるため、フーリエ変換によりサイドローブが出ないような分布をもつ光スペクトルを形成する必要がある。そのためには、ガウシアン分布の光スペクトルであることが望ましい。よって、図3に示すような可視光帯域のスペクトル分布の光を図1において説明した光学フィルタ6によって形成すればよいことになる。このようなスペクトル帯域を有する光を用いれば、 $1 \mu\text{m}$ 以下の離間距離分解能を得ることができる。

【0036】こうして、図1に示したように、光検出器33の出力から、信号処理回路43により離間距離dが測定され、この測定値はフィードバック回路42を介してプローブ位置制御手段41にフィードバックされる。そして、EOプローブ31と被測定回路32の離間距離が所望の値になるようにEOプローブ31が制御される。

【0037】また、電気物理量測定用光（ここでは、電圧測定用のレーザ光）には近赤外領域、すなわち $1.3 \mu\text{m}$ または $1.5 \mu\text{m}$ 帯の光を用いることにより、この電気物理量測定用光と可視光領域の白色光である距離測定用光とは波長帯域で十分分離される（図3参照）。なお、電圧測定用光学系を図1に符号45で示す。

【0038】図1において、ダイクロイックミラー8は、電気物理量測定用光の光路に距離測定用光を入射させ、両測定用光をEOプローブ31に導き入れる一方、EOプローブ31の先端面と被測定回路32の表面で反射した光を、電気物理量測定用光と距離測定用光に分けている。なお、ダイクロイックミラー8および電圧測定用光学系45は、必ずしもビームスプリッタ7とEOプローブ31との間に配置する必要はなく、ビームスプリッタ7の光源側に配置することもできる。

【0039】ところで、ビームスプリッタ7により分路した二つの光路において、色分散特性が等価でないと干

渉出力の包絡線が広がり、離間距離測定の分解能が低下する。したがって、図 1 においては、反射ミラー 10 側の光路中には石英ガラスや光ファイバなどの色分散補償媒体 24 を挿入し、EOPローブ 31 側の光路に存在する色分散を補正している。

【0040】〔第 2 実施例〕図 4 は、本発明の第 2 実施例を示す図であり、EOPローブ・被測定対象間の距離制御系全体を示している。

【0041】白色光源 1 から発せられた距離測定用光は、第 1 実施例と同様に熱線吸収フィルタ 2 および光学フィルタ 6 を通り、かつ前述したコリメート光学系で平行光とされた後、ハーフミラー 12、ダイクロイックミラー 8 を介して EOPローブ 31 と被測定回路 32 とに導かれる。EOPローブ 31 の先端面と、被測定回路 32 の表面で反射された光は、ハーフミラー 12 を介してビームスプリッタ 7 に導かれる。

【0042】ビームスプリッタ 7 により分路された二つの光路には、同等な反射ミラー 10、11 が配置されており、これら各ミラー 10、11 からの反射光は、ビームスプリッタ 7 において干渉される。この干渉光は集光レンズ 9 により集光され、さらに光検出器 33 に受光されて光強度として検出される。ここでは、一方の反射ミラー 11 は固定とされているが、他方の反射ミラー 10 はピエゾ素子 44 で光軸方向に高精度に走査できるように構成されている。この走査により、上記二つの光路の光路差は連続的に変化することになる。

【0043】反射ミラー 10 を光軸に沿って移動させると、第 1 実施例で説明した白色光干渉の原理に従って、図 5 に示すような干渉出力が得られる。同図において、ビームスプリッタ 7 から両反射ミラー 10、11 までの光路長が一致する  $Z=0$  の位置で干渉出力が最大となり、その前後  $\pm d$  の対称な位置に干渉出力が現れる。この離間距離  $d$  は EOPローブ 31 と被測定回路 32 の表面との離間距離に相当するので、干渉出力から該離間距離  $d$  を測定することができる。なお、図 5 において、包絡線を破線で示す。

【0044】上記測定値は、第 1 実施例におけると同様、信号処理回路 43、フィードバック回路 42 を介してプローブ位置制御手段 41 にフィードバックされ、EOPローブ 31 の先端面と被測定回路 32 の表面の離間距離  $d$  が所望の値となるように EOPローブ 31 の位置が制御される。また、電圧測定用のレーザ光は、第 1 実施例の場合と同様に、ダイクロイックミラー 8 により EOPローブ 31 に導かれる。

【0045】この第 2 実施例では、ビームスプリッタ 7 により分路された二つの光路において色分散特性は完全に等価なので、色分散による離間距離分解能の低下はなく、白色光のスペクトル分布で決まる距離分解能を得ることができる。

【0046】〔第 3 実施例〕図 1 に示した距離制御系に

おいては、両端に集光レンズ 13、14 が設けられた光ファイバ 15 を用いて、EOPローブ 31 に距離測定用光や電気物理量測定用光を導入することができる（図 6 参照）。この場合、被測定回路 32 に近接される EOPローブ 31 と、他の光学系が光ファイバ 15 によって分離されるため、装置の発する振動やノイズに影響されない EOPローブ 31 と被測定回路 32 の表面との高精度な離間距離制御が可能となる。また、EOPローブ 31 に光を導く際のアラインメントが容易となる。

【0047】ただし、EOPローブ 31 がビームスプリッタ 7 により分路された二つの光路のうち一方の光路に配置されているため、光ファイバ 15 により EOPローブ 31 に距離測定用光を導く場合は、反射ミラー 10 側の光路にも同じ特性かつ同じ長さの光ファイバを配置することにより、上記した色分散を補償し分解能の低下を避ける必要がある。

【0048】反射ミラー 10 側の光路に光ファイバを用いる場合、図 7 に示したピエゾリングアクチュエータ 25 で構成されるファイバ位相変調器 23（ピエゾリングに光ファイバが巻回されてなるピエゾ駆動装置 46 により駆動する装置）により反射ミラー側の光路長を変化させてもよい。この場合、反射ミラーのアラインメントの必要がなくなるので、光路長を変化させる際の安定性が向上する。

【0049】〔第 4 実施例〕図 2 に示した距離制御系においても、第 3 実施例と同様、光ファイバ 15 を用いて EOPローブ 31 に距離測定用光や電気物理量測定用光を導入することができる（図 6 参照）。この場合、第 3 実施例で述べたと同様な効果が期待されることはもちろんである。

【0050】上記、図 1、図 4 ではビームスプリッタ 7 により干渉計を構成する場合を説明したが、ビームスプリッタ 7 を用いることなく、各光路を図 8 に示すような光ファイバカップラ 22 で構成することもできる。また、上記図 4（第 2 実施例）では、ビームスプリッタ 7 により分路した二つの光路のうち一方の光路長を反射ミラー 10 により変化させる場合を示したが、本発明はこれに限らず、同図のハーフミラー 12 で取り出された光を二つの光路に分路し、これら二つの光に光路差を与えるものであれば、光路長を変化させる手段として他のものを採用することができる。

【0051】たとえば、図 9（A）に示すような二つの偏光子 18、20 とウオラストンプリズム 19 で構成される偏光干渉計を用いることができる。このこの偏光干渉計では、直角に偏光された二つの光の位相差が光軸に垂直な一次元方向に変化するため、CCD 34 などのアレイ状の光検出器を用いて、干渉出力を空間的に得、これを信号処理回路 43 で処理することができる。

【0052】また、図 9（B）に示すように光ファイバカップラ 21 を用いて、同様の機能を構成することもで



きる。同図 (B) では、集光レンズ 16 により光ファイバー 17 a の端面に集光されて距離測定用光は光ファイバカップラ 21 を介して二路に分路した光ファイバー 17 b、17 b の端面から CCD 34 に照射される。CCD 34 表面上の、両光ファイバー 17 b の照射口からの距離が異なる点において干渉が生じる。信号処理回路 43 は CCD 34 からの空間的な干渉出力を処理することで図 9 (A) と同様の測定を行っている。

【0053】 このように、空間的に干渉出力を得る場合、反射ミラー 10 などの機械的な走査に伴う振動などの影響がなくなり、かつ電気的な走査により干渉出力が得られるため、離間距離測定の速さが大幅に改善される。さらに、上記実施例においては白色光源 1 としてハロゲンランプを仮定したが、EOプローブと被測定回路との間に要求される離間距離に応じて、白色光源 1 は適宜のものが選択される。たとえば、離間距離が  $10\ \mu\text{m}$  程度であるなら LED が、また数  $10\ \mu\text{m}$  であるなら SLD などの低コヒーレント光源が採用される。

【0054】 なお、ここでは被測定回路 32 の内部ノードの電圧値を測定する EOプローブ 31 の位置決め方法について記述したが、本発明は、ここで対象とした EOプローブ 31 の位置決め方法のみに限定されるものではない。すなわち、光を用いた物理量測定用のプローブを被測定対象に対して  $1\ \mu\text{m}$  から数  $10\ \mu\text{m}$  の離間距離に保つ必要がある場合において、プローブ材料が光源の光に対して透明であるような EOプローブ以外のプローブを該 EOプローブに代えて用いた場合にも、本発明の離間距離制御を行うことができる。

【0055】 【第 5 実施例】 たとえば、図 10 に示すような回路内部の非接触電流測定装置が考えられる。同図の装置は、基板 53 上に形成された被測定回路 52 に、先端が透明な磁気光学プローブ (MOプローブ) 51 を近接して配置し、被測定回路 52 を流れる電流を測定するものである。すなわち、この装置は、回路内部の被測定回路 52 を流れる電流によって形成される磁界 (同図において、磁力線を破線で示す) を、磁気光学効果を持つ結晶により、電流測定用 (レーザ) 光の偏光面の回転に置き換えて測定するもので、偏光面の回転角度を測定することにより、電流値を得ることができる。この電流測定装置に本発明のプローブ制御技術を適用すると、プローブの制御が格段に向上する。なお、EOプローブに代えて使用される上記の MOプローブの材質は、YAG (イットリウム・アルミニウム・ガーネット)、YAG (イットリウム・鉄・ガーネット) である。

【0056】 前記 EOプローブや MOプローブの実施例から明かなように、透明な材質で端面を有する部材が被測定部位と一定間隔を隔てて定位されるから、この部材に固定されたその他のプローブも使用できる。

【0057】 なお、上記実施例では横方向の位置決めについては説明しなかったが、これは従来と同様の方法に

より行われるため、説明を省略する。

#### 【0058】

【発明の効果】 以上述べたように、本発明によれば以下のような効果を奏することができる。

(1) 光学プローブと被測定回路との離間距離を常に測定しながら光学プローブを近接させるため、光学プローブを被測定回路に接触させることがなく、かつ任意の離間距離に設定することができる。さらに、離間距離の測定値をプローブ位置制御手段にフィードバックすることにより、高精度且つ高安定に位置決めすることができる。

【0059】 (2) 距離測定用光と、電気物理量測定用光とを波長帯域で分離することができるので、距離測定用光が電圧測定に悪影響を与えることはない。

【0060】 (3) 光学プローブや光ファイバ内での色分散の影響を考慮する必要がなくなり、干渉に寄与する光のスペクトル帯域で決まる距離測定の分解能を得ることもできる。

【0061】 (4) 電気物理量の測定に用いる非接触型の測定装置の信頼性が格段に向上し、被測定回路の内部ノードの電圧値等の高精度な測定が可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 実施例を示す図である。

【図 2】 図 1 の実施例において得られる干渉出力を説明する図である。

【図 3】 本発明における距離測定用光に要求されるスペクトル分布と、電気物理量測定用光との波長帯域での分離の様子を説明する図である。

【図 4】 本発明の第 2 実施例を示す図である。

【図 5】 図 4 の実施例において得られる干渉出力を説明する図である。

【図 6】 本発明の距離制御装置において、光ファイバを用いて EOプローブへ光を導く実施例を説明する図である。

【図 7】 光路長の変化を、ファイバ位相変調器で構成した例を説明する図である。

【図 8】 図 1 及び図 4 におけるビームスプリッタを光ファイバカップラで構成した例を説明する図である。

【図 9】 (A) は偏光干渉計と CCD などのアレイ状の光検出器を用いて、干渉出力を空間的に得る一つの例を示す図、(B) は光ファイバと CCD などのアレイ状の光検出器を用いて、干渉出力を空間的に得る一つの例を示す図である。

【図 10】 本発明の第 5 実施例を示す図であり、MOプローブによる電流測定装置の説明図である。

#### 【符号の説明】

1 : 白色光源

2 : 熱線吸収フィルタ

3, 9, 13, 16 : 集光レンズ

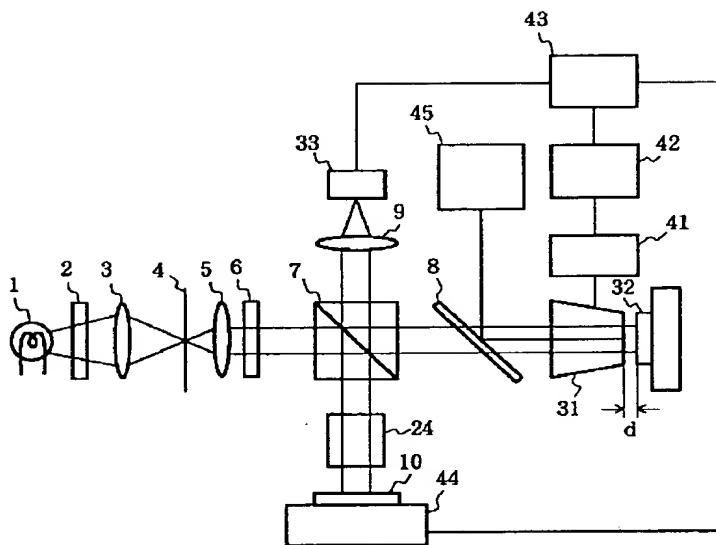
4 : ピンホール



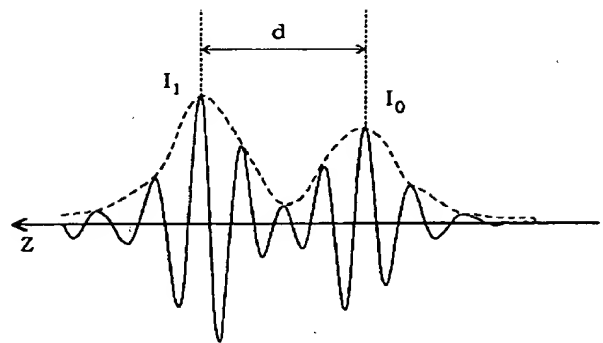
5 : コリメートレンズ  
 6 : 光学フィルタ  
 7 : ビームスプリッタ  
 8 : ダイクロイックミラー  
 10, 11 : 反射ミラー  
 12 : ハーフミラー  
 13, 14 : 集光レンズ  
 15 : 光ファイバ  
 16 : 集光レンズ  
 18, 20 : 偏光子  
 19 : ウオラストンプリズム  
 21, 22 : 光ファイバカップラ  
 23 : 光ファイバ位相変調器  
 24 : 色分散補償媒体

31 : EOプローブ  
 32 : 被測定回路  
 33 : 光検出器  
 34 : CCD  
 41 : プローブ位置制御手段  
 42 : フィードバック回路  
 43 : 信号処理回路  
 44 : ピエゾ素子  
 45 : 電圧測定用光学系  
 46 : ピエゾ駆動装置  
 51 : MOプローブ  
 52 : 被測定回路  
 53 : 基板

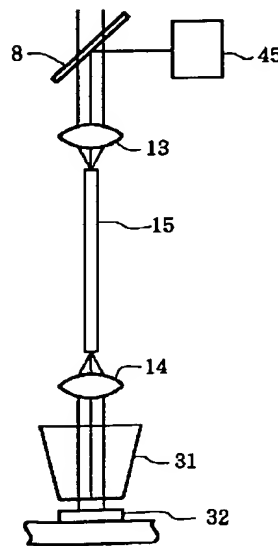
【図1】



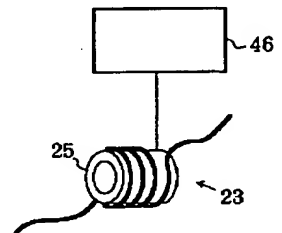
【図2】



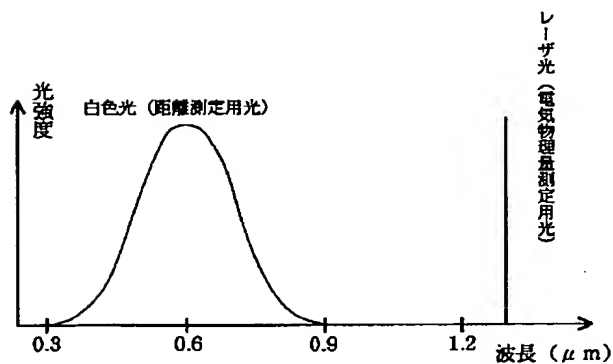
【図6】



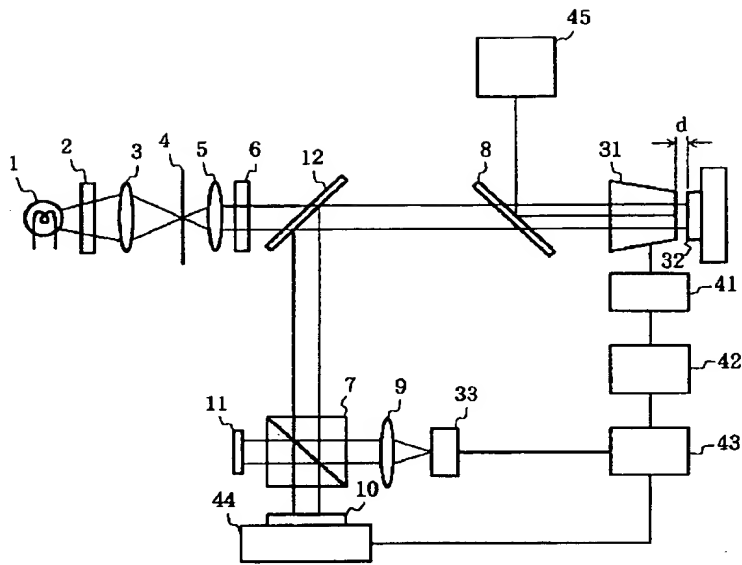
【図7】



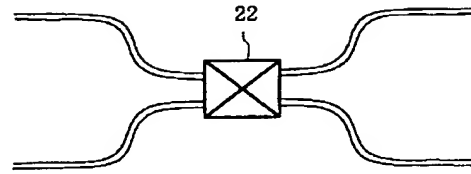
【図3】



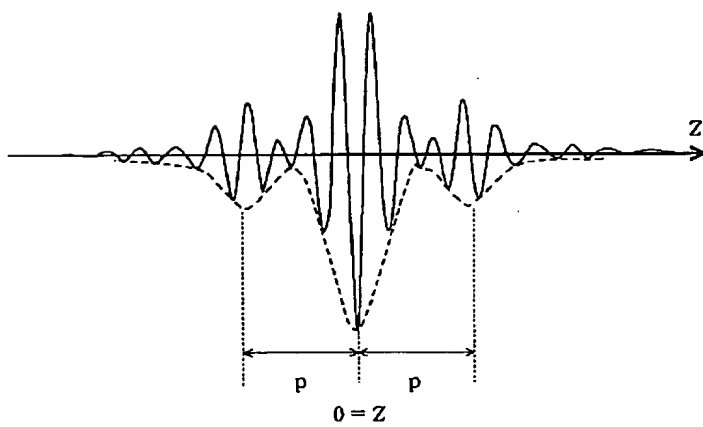
【図 4】



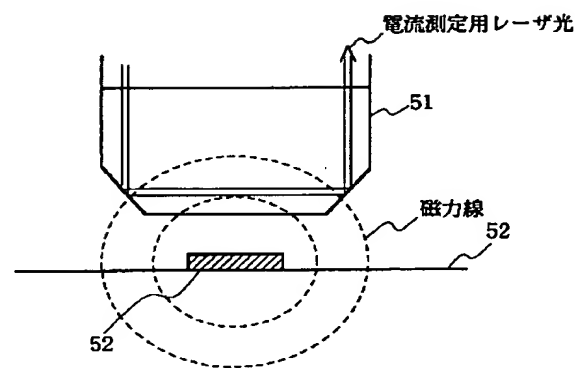
【図 8】



【図 5】



【図 10】



【図 9】

